

# 多元パケット交換システムにおけるパケット転送方式に関する研究

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 栗林 伸一   |
| 号   | 1009  |
| 発行年 | 1988  |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10097/11942">http://hdl.handle.net/10097/11942</a> |

|                   |  |
|-------------------|--|
| 氏 名               | 栗 林 伸 一  |
| 授 与 学 位           | 工 学 博 士  |
| 学 位 授 与 年 月 日     | 昭 和 63 年 10 月 12 日   |
| 学 位 授 与 の 根 拠 法 規 | 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項  |
| 最 終 学 歴           | 昭 和 55 年 3 月<br>東北大学大学院工学研究科情報工学専攻<br>前期 2 年の課程修了                      |
| 学 位 論 文 題 目       | 多元パケット交換システムにおけるパケット転送<br>方式に関する研究                                     |
| 論 文 審 査 委 員       | 東北大学教授 野口 正一 東北大学教授 木村 正行<br>東北大学教授 高木 相 東北大学教授 中村 維男<br>東北大学助教授 根元 義章 |

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

情報化社会の発展に伴い、企業内及び企業間の相互通信の需要が増大している。また、メディア種別も音声、データ、画像と多様化しつつあり、情報速度についても数10bit/sのテレメータリングから数100Mbit/sの動画像まで広い範囲に及んでいる。これに対応するため、サービス総合デジタル網（ISDN）の構築が世界各地で開始されている。現在進められているISDN化は加入者系の統合を中心としたものであり、中継系も含めたネットワークの統合を行うためには、音声・データ・画像等の各種メディアからの情報を一つの交換ノードで統合的に転送・交換する必要がある。

すべての通信情報を宛先付きの情報ブロック（パケット）に分割して転送するパケット交換技術は、①低速から高速までを一元的に扱える、②パケット多重により伝送路の効率的利用が可能である、③情報のバースト性による情報発生速度の変動に柔軟に対処可能である等の利点があり、音声・データ・画像等の各種メディアを統合する広帯域ISDNの有力な転送技術として活発な研究・開発が世界中で進められている。ここでは、音声・データ・画像等の各種メディアからの情報をパケット交換技術により一元的かつ効率的に取り扱うシステムを「多元パケット交換システム」と定義す

る。

本論文は、多元パケット交換システムにおけるパケット多重化方式の有力な候補である優先パケット転送方式、ならびに固定長パケットをタイムスロット内に格納して転送する方式の性能評価測度とその設計指針を得ることを第一の目的とする。また、同一呼に属するパケットを複数の回線またはルートに振り分けるルーティング方式を採用した場合の受信側における順序制御待ちの基本的特性、ならびに時間的透過性または公平な衛星回線の割当てを保証する衛星アクセス方式について検討し、多元パケット交換システム制御に関する設計指針を得ることが第二の目的である。これらの検討結果は、多元パケット交換システムの評価・設計法の基礎となり、その確立に大きく貢献することが期待できる。

## 第2章 多元パケット交換における優先パケット転送方式

多元パケット交換システムでは、パケット長、到着分布（パケット到着のバースト性）、要求品質（遅延時間、遅延揺らぎ、パケット紛失率）等が大幅に異なる各種パケットを混在して転送・交換する。そのため、各パケットの要求品質を保証し、かつ回線容量やバッファ等のシステム資源を有効に利用できるパケット多重化方式の確立が最も重要な課題の一つであり、優先パケット転送方式はそれを実現する有力な候補である。

本章では、複数呼種、パケット到着のバースト性ならびに複数回線を全て考慮した優先パケット転送方式を「非割込み優先権のある集団到着複数サーバ待ち行列」でモデル化し、拡散近似を用いて平均パケット待ち時間、パケット廃棄率等の性能評価測度を導出した。また、厳密解またはシミュレーションとの比較により、本近似法が実用上十分な精度を与えることを示した。これにより、複数呼種、集団到着、複数サーバを全て考慮した非割込み優先パケット転送方式の性能評価を容易に行えるようになった。なお、本解析結果は優先処理を伴う計算機システム等の性能評価にも適用できる。

次に、導出した性能評価測度に基づいた数値例により、①優先単位はパケットでなくセル（システム内での転送・交換単位であり、パケットの構成要素）が望ましい、②①を前提とすれば、優先呼の遅延時間は非優先呼のパケット長および到着分布には影響されない、③中継回線数が集団サイズ以上であれば集団サイズが1の場合の特性に近づく、等の多元パケット交換システムにおけるパケット多重化方式に関する重要なシステム設計指針を得た。

さらに、優先パケット転送方式を前提としたバッファ管理方式について検討し、呼種毎にトラヒック量見合いのバッファを割当て、優先呼用バッファに空きがあれば非優先呼用にそれを融通するバッファ融通方式を提案し、各呼種毎の要求品質を確保し、かつバッファを有効利用できることを明らかにした。

## 第3章 高速多元パケット転送方式

固定長パケットを使用し、それをタイムスロット内に格納して情報を転送するタイムスロット内パケット格納転送方式は、高速多元パケット交換システムにおける有力なパケット多重化方式の一

つである。例えば、広帯域 I S D N における転送技術として世界的に注目されている非同期時分割 (A T M) を利用したシステム、ループ上を同期的にタイムスロットが回転するスロット型リング L A N 等が上げられる。これらシステムでは、パケットの転送開始時点ならびに優先権の高いパケットの割込み位置は、任意時点ではなくタイムスロットの切れ目である。

本章では、優先処理を考慮したタイムスロット内パケット格納転送方式を周期処理優先権待ち行列でモデル化し、再生理論を用いて平均待ち時間を導出する手法を明らかにした。これにより、従来の隠れマルコフ連鎖法や補助変数法を用いた手法に比べ、簡単にかつ優先権規律によらず統一的に平均待ち時間を導出することが可能となった。さらに、上記の検討結果に基づいた最適タイムスロット長の決定手順を明らかにした。これにより、システム毎に最適なタイムスロット長の設計が可能となった。

#### 第 4 章 多元パケット交換におけるパケット転送制御

多元パケット交換システムにおいては、データ等の高信頼性が要求される呼に属するパケットを、負荷変動時または回線障害時に複数ルートまたは同一ルート上の複数回線に振り分け、その転送を確保する必要がある。このとき、パケットが受信側に順序逆転して到着する可能性があり、その際受信側で順序補正を行うのが順序制御である。順序逆転して到着したパケットは、順序通りに到着したパケットよりも長時間保留され、また受信側ではその分余計にバッファを確保しておく必要がある。

本章では、送・受信局間に 2 つの転送ルート（転送時間は固定）が存在するモデルを用いて、受信局における順序制御待ちパケット数、順序制御待ち時間等の導出式を求めた。これにより、パケットを複数ルートに振り分けた場合の受信側における順序制御待ち用バッファ数設計、および順序制御待ちに伴う転送時間増分の導出が可能となった。

さらに、数値例により、順序制御待ちパケット数はパケット発生率と転送時間差の積に比例すること、ルート選択確率を制御することにより順序制御待ちパケット数を少なくできること等のシステム設計指針を得た。また、各ルートの転送時間が変動する実システムでは、各ルートの平均転送時間を推定あるいは実測し、順序制御待ちパケット数の導出式から最大順序制御待ちパケット数を求めれば、安全側の設計が可能であることをシミュレーションにより明らかにした。

#### 第 5 章 多元パケット交換の応用

近年国内電話網への適用が進められている衛星通信は、同報性、回線設定の柔軟性等の特徴を有しており、多元パケット交換システムの構成要素としても有望である。衛星回線を用いて多元パケット交換システムを実現する場合、衛星アクセス方式が重要な課題となる。順次予約方式等の予約を前提とした従来の衛星アクセス方式は、衛星回線の有効利用が図れる反面、時間的透過性の保証または公平な衛星回線の割当てを犠牲にしている場合が多い。

本章では、衛星回線を有効に利用するために必要な予約機能と、T D M A 方式における固定割当て機能を組合せた「衛星チャンネル予約方式 (S C R M)」を提案し、数値例により以下の特性を明

らかにした。すなわち，①S C R Mは順次予約方式に比べて伝送効率が高く，この傾向はパケット端末数が多くなるほど強くなる，②両方向通信を行う場合，パケット毎に両側で予約が必要となる順次予約方式に比べてS C R Mは通信時間が短縮できる，③S C R Mは時間的透過性が要求される音声通信や公平なサービスを必要とする多端末T S Sなどに適する，④優先処理を考えた場合，S C R Mは非優先データに対する優先データの過度の割込みを防止できる，⑤呼単位に衛星チャネルを割当ることで網全体のフロー制御も容易となる等である。

本検討により，時間的透過性あるいは公平な衛星回線の割当てを必要とするシステムにも衛星通信が適用できるようになった。

## 第 6 章 結 論

本章は本論文を要約し，主要な結果を総括した。また，今後に残された課題について簡単に述べた。

以上，多元パケット交換システムにおいて最も重要な課題の一つであるパケット多重化方式の性能評価測度とその設計指針を得ることができた。これは，多元パケット交換システムの評価・設計法の基礎であり，その確立に大きく貢献する成果である。さらに，従来解析が行われていなかった待ち行列モデル「非割込み優先権のある集団到着複数サーバ待ち行列」を解析したことにより，複数呼種，集団到着，複数サーバ，非割込み優先を全て考慮した複雑な待ち行列モデルの評価が可能になった。これらの検討結果は，優先処理または周期処理を行う計算機システム等の性能評価にも十分に役立つ。

また，順序制御待ちの基本的特性を把握することにより，順序制御待ち用バッファ数算出法，およびルート選択法等のシステム設計指針を得ることができた。さらに，時間的透過性あるいは公平な衛星回線の割当てを必要とするシステムにも衛星通信が適用できるようになった。

## 審 査 結 果 の 要 旨

音声・画像・データ等の各種のメディアからの情報を統合的かつ効率的に取り扱う多元パケット交換システムは、将来のサービス統合デジタル網（ISDN）における有力な交換システムとして注目されており、その最適設計法の確立が要求されている。著者は多元パケット交換システムの設計とその評価法の確立を目的として、パケット転送・交換方式に係わる研究を行ってきた。本論文はその成果をとりまとめたもので全編6章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では多元パケット交換システムについて研究し、まず入力条件として複雑呼種、パケット発生の一時的性ならびに複数回線のもとでの優先パケット転送の条件が重要であることを指摘している。ついでこの入力条件のもとでシステムを非割り込み優先権のある集団到着複数サーバ待ち行列でモデル化し、拡散近似を用いて解析を行い、システムの性能評価を行っている。この手法を用いることにより従来困難であった優先特性をもつ複雑な待ち行列モデルの解析と評価が可能となった。この成果は高く評価できる。また、パケット転送時間等に大きく影響するバッファ管理方式として新しくバッファ融通方式を提案し、その有効性を確認している。

第3章では高速伝送方式として、固定長パケットをタイムスロット内に格納して転送する伝送方式について述べている。この方式の特徴を再生理論を用いて解析を行い、特に優先権規律によらずに平均待ち時間を簡単に、かつ統一的に導出する方法を求めている。これを基として、システム設計上重要な最適タイムスロット長の決定法を明らかにしている。

第4章では多元パケット交換システムにおける順序制御方式について、送・受信局間に転送ルートが2つ存在するモデルを用いて論じている。特に受信局における入力トラフィックに対する待ちパケット数、順序制御待ち時間等、順序制御待ちの基本的特性を明らかにしている。さらにルート選択法の設計指針を与えている。

第5章では衛星回線を用いた多元パケット交換方式を取りあげ、衛星通信において重要な課題である衛星アクセス方式について論じ、音声通信等に必要最低時間遅れの保証及び公平な衛星回線割り当てを実現できる衛星チャネル予約方式を提案し、数値解析シミュレーションによりその有効性を示している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、多元パケット交換システムにおけるパケット交換方式の理論解析を行い、その性能評価を行うとともに通信システムの設計に多くの知見を与えたもので、通信工学ならびに情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。